

## VERFAHREN ZUM TRENNEN FLACHER WERKSTÜCKE AUS KERAMIK MIT EINER BERECHNETEN STRAHLFLECKLÄNGE

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Trennen von im Wesentlichen flachen Werkstücken aus Keramik durch thermisch induzierte Spannungen mittels Laser.

5

Beim Trennen auf der Basis thermisch induzierter Spannungen wird durch zeitlich und örtlichen Wärmeeintrag und/oder -entzug im Material ein Temperaturgradient erzeugt, der Spannungen bewirkt, die zu einer Rissbildung führen. Die Trennung kann durch die Ausbildung eines das Material vollständig durchdringenden Risses  
10 erfolgen oder aber durch die Ausbildung eines Tiefenrisses und anschließende Trennung durch eine mechanische Krafteinwirkung.

Aus dem Stand der Technik sind eine Vielzahl derartiger Verfahren bekannt, die durch die verschiedensten Maßnahmen das Verfahrensergebnis, das insbesondere in  
15 einer hohen Qualität der Trennkante besteht, optimieren soll. Zwar sollen die in der Patentliteratur beschriebenen Verfahren in der Regel auf spröde, nichtmetallische Materialien insgesamt anwendbar sein und damit auch auf Keramik, jedoch sind die beschriebenen Ausführungsbeispiele auf Glas beschränkt, was mit Blick auf die nachfolgenden Erläuterungen verständlich wird.

20

Vermutlich wird das Trennen von Glas durch thermisch induzierte Spannungen das erste Mal in dem 1964 angemeldeten Patent DE 1244246 erwähnt. Ein Laserstrahl wird mit einem geringen Strahlquerschnitt und damit einer hohen Energiedichte über die Oberfläche eines mit einer strahlungsabsorbierenden Schicht versehenen  
25 Flachglases geführt (Laserlinie), infolge dessen es durch Wärmeleitung zu einer Erwärmung des Glases von der Oberfläche her entlang der Laserlinie kommt. Es wurde erkannt, dass es hierbei nicht auf den absoluten Wert der Erhitzung des Glases ankommt, sondern auf den Temperaturgradienten im Glas quer zur Laserlinie, der insbesondere durch eine der Erwärmung folgende Kühlung erzielbar ist. Es wurde  
30 bereits damals festgestellt, dass es zur Ausbildung des erforderlichen Temperaturgradienten nicht erforderlich ist, das Glas bis auf seine Schmelztemperatur zu erhitzen und dass die Qualität der Trennfläche infolge eines Thermorisses gegenüber der durch Aufschmelzen des Glases eine andere ist.

Spätere Veröffentlichungen beschäftigen sich mit der Optimierung dieses Grundlagenverfahrens zur Erhöhung der Trenngeschwindigkeit, Verbesserung der Genauigkeit der Linienführung der Trennlinie (Trenngenauigkeit) und der Oberfläche  
5 der Trennkante (Kantenqualität).

Wie 1992 in der WO 93/20015 aufgezeigt, ist die Trenngenauigkeit bei derartigen Verfahren bis dahin aus folgenden Gründen nicht ausreichend:

Die Rissausbildung beginnt an der Kante einer Glasscheibe zu einem Zeitpunkt, an  
10 dem sich der Strahlfleck bereits von der Kante entlang der Laserlinie entfernt hat. Innerhalb dieses Bereiches, zwischen der Kante der Glasscheibe und dem Strahlfleck, entsteht eine komplexe Verteilung von Wärmespannungen, die vorerst nur Druckspannungen bewirken, die jedoch noch nicht zur Ausbildung von Rissen führen. Mit dem Auftreffen des Kühlmittels, was zu einem schlagartigen Wärmeentzug führt,  
15 entstehen Zugspannungen, die nunmehr bei Überschreitung der Zugfestigkeit des Glases zur Rissbildung führen. Während des Vorrückens des Risses werden die Kanten des Materials auf beiden Seiten des Risses auseinander gedrückt, wodurch mechanische Spannungen entstehen, welche die weitere Ausbreitung des Risses fördern. Bei Annäherung des Risses an die Begrenzung der Platte krümmt sich der  
20 Riss relativ zur Laserlinie, was in dieser Schrift durch die Asymmetrie der Wärmespannungen in der Glasplatte erklärt wird.

Eine verbesserte Trenngenauigkeit und Trenngeschwindigkeit verspricht die Auswahl bestimmter Verfahrensparameter entsprechend einer in der WO 93/20015 aufgezeigten Gleichung, nach der ein Tiefenriss spezifischer Richtung und Tiefe  
25 entstehen soll. Nach dieser Gleichung wird die Relativgeschwindigkeit gewählt, abhängig von der Länge und Breite eines elliptischen Strahlquerschnittes, wie er aus SU-A-1231813 bekannt ist, einem Proportionalitätsfaktor, der von den thermophysikalischen und mechanischen Eigenschaften des Glases sowie der Strahlleistungsdichte bestimmt ist, dem Abstand Strahlfleck und Kühlzone sowie der  
30 gewünschten Risstiefe, die von der Materialdicke des Werkstückes bestimmt wird.

Obwohl so nicht explizit erwähnt, dient die Parameterauswahl unter Verwendung dieser Formel letztendlich einem möglichst definierten örtlich verteiltem Einbringen von Wärmespannungen.

Spätere Patente entwickeln insbesondere die Geometrie des Strahlflecks weiter, die den Energieeintrag optimieren soll. Dabei werden die Ausführungsbeispiele jeweils an Hand von Glas erläutert.

5 So wird in der WO 96/20062 anstelle einer bislang üblichen Gaußverteilung der Energiedichte im Strahlfleck eine Energiedichteverteilung vorgeschlagen, die von der Peripherie zum Zentrum hin abnimmt (elliptischer Ring). Die EP 0 872 303 schlägt eine Strahlfleckform mit einer Energiedichteverteilung entsprechend einer U- oder V-Kurve vor.

10 Das Bestreben des Standes der Technik entlang der Laserlinie homogene Wärmespannungen zu erzeugen und über spezifische Energiedichteverteilungen die Qualität des Trennrisses zu beeinflussen ist ein Indiz dafür, dass man davon ausgeht, dass amorphes Material ohne Eigenspannungen, wie dies auf viele Glassorten zutrifft, bearbeitet werden soll.

15

Bei der Prozessdurchführung an kristallinem Material, wie Keramik, muss man davon ausgehen, dass die den Prozessablauf bestimmenden Prozessspannungen nicht ausschließlich durch die zeitliche und örtliche Ausbildung der induzierten Wärmespannungen bestimmt werden, sondern auch die Eigenspannungen zu den  
20 Prozessspannungen beitragen. Insbesondere wenn sich größere Eigenspannungen über den Weg der gewünschten Trennlinie ändern, können die bekannten Verfahren nicht die versprochene Trennqualität erreichen. Die beschriebenen Verfahren geben auch keinen Lösungsansatz für das eingangs beschriebene Problem des Krümmens der Trennlinie zur Laserlinie hin am Werkstückende, was von der Anmelderin als ein  
25 Problem der Eigenspannungen verstanden wird.

Neben dem außer Acht lassen der Eigenspannungen bei den bekannten Verfahren, die in der Regel angeblich für alle nichtmetallisch spröden Werkstoffe anwendbar sind, ist die Notwendigkeit des Initialrisses ein weiterer Hinweis, dass diese Verfahren  
30 praktisch nicht für Keramik geeignet sind.

Beispielsweise wird für das in der WO 96/20062 beschriebene Verfahren vorgeschlagen, einen Anschnitt (Initialriss) an der Oberfläche des Materials entlang

der gewünschten Trennlinie aufzutragen, bevor der bestrahlte Abschnitt gekühlt wird. Zwar sei der Anschnitt in der Technik nicht neu und würde häufig bei thermischen Schneidverfahren von Platten praktiziert, jedoch ergäbe sich im Zusammenhang mit dem aufgezeigten Verfahren ein neuer Effekt, nämlich eine sehr präzise Schnittführung und hochwertige Qualität der Kanten. Auch in der EP 0448168, der WO02/48059 und der DE 19955824 wird der Initialriss als wesentliches Merkmal genannt.

Die Anmelderin selbst weiß aus praktischer Erfahrung, dass das Vorhandensein eines Initialrisses zum Trennen von Glas durch thermisch induzierte Spannungen zwingend notwendig ist. Dass ein solcher Initialriss als notwendige Voraussetzung in den Verfahrensbeschreibungen nicht in jedem Fall erwähnt wird und auch nicht in jedem Fall gesetzt wird, ist darauf zurückzuführen, dass man praktisch beginnt, von einer mechanisch geschnittenen Kante aus zu trennen, die grundsätzlich eine Vielzahl von Mikrorissen aufweist. Einer dieser Mikrorisse dient dann als Initialriss, der sich als Trennriss fortpflanzt. Setzt man jedoch dann einen zweiten Trennschnitt an dieser mit Laser geschnittenen Trennkante an, kommt es bei Beibehaltung der Prozessparameter anstelle der gewünschten gerichteten Rissbildung nur zur Erwärmung und anschließender Abkühlung, ohne dass sich ein Riss bildet, was darauf zurückzuführen ist, dass diese Kante keine Mikrorisse aufweist, die als Initialriss dienen können. Ganz deutlich wird die Notwendigkeit des Initialrisses in der DE 100 41 519 gezeigt, die ein Verfahren zum Trennen einer Flachglasscheibe in mehrere Rechteckplatten offenbart. Hier wird deutlich, dass es dem Fachmann bekannt ist, dass er zum Trennen von Glasplatten, ausgehend von einer Trennkante entstanden durch thermisch induzierte Spannungen, zwingend einen Initialriss benötigt.

25

Neben dem Bestreben, über die Prozessdauer stets einen homogenen Wärmeeintrag entlang der Laserlinie zu erreichen und dem zwingenden Setzen eines Initialrisses, sofern die Kante, an der der Schnitt angesetzt wird, keine Mikrorisse aufweist, hat die Anmelderin einen weiteren Mangel erkannt, weshalb die bekannten Verfahren nicht ohne weiteres auf das Trennen von Keramik im Allgemeinen anwendbar sind.

30

Grundsätzlich wird unter Beachtung der Schmelztemperatur und des zu trennenden Materials sowie gegebener Strahlfleckgeometrie und Energiedichtevertelung im Strahlfleck ein Wärmeeintrag über eine optimierte Parameterkombination der

Laserleistung, der Länge des Strahlflecks und der Vorschubgeschwindigkeit bewirkt, die zu Spannungen führen, die ausreichend hoch sind, damit sich der Initialriss fortpflanzt.

Es gibt keinen Hinweis im aufgezeigten Stand der Technik, dass der Spielraum für die Wahl der Länge des Strahlfleckes durch die Eigenschaften des zu trennenden Materials nach oben hin begrenzt ist oder unter deren Beachtung optimal ausgewählt wird.

Tatsächlich kann Glas sowohl mit kleinen aber auch großen Strahlflecklängen (ca. 2-50 mm) in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit getrennt werden und die Strahlflecklänge muss nicht angepasst werden, wenn unterschiedliche Gläser geschnitten werden sollen.

Bei Keramik hingegen, so haben Versuche der Anmelderin gezeigt, ist der Bereich, den die Strahlflecklänge haben kann, damit in der Keramik der gewünschte Riss erzeugt wird, nicht nur wesentlich kleiner, sondern für die verschiedenen Keramiken auch unterschiedlich.

Wie bereits erwähnt, gibt es im aufgezeigten Stand der Technik kein Ausführungsbeispiel, bei dem ausdrücklich Keramik getrennt werden soll.

In der Praxis wird Keramik durch mechanisches Sägen getrennt bzw. mittels Laser durch sogenanntes „Scriben“, was fälschlicherweise auch als Ritzen bezeichnet wird. Es handelt sich hierbei um kein wirkliches Ritzen, sondern um einen Materialabtrag in Form von Sacklöchern entlang einer Linie. Eine Laserbearbeitungsanlage zur Durchführung eines Verfahrens dieser Art ist aus dem Prospektmaterial der Firma ProCom Systemhaus und Ingenieurunternehmen GmbH unter dem Namen CNC300 bekannt.

Durch das Schmelzen und Verdampfen des Materials werden sehr hohe Spannungen eingebracht, die zur Mikrorissbildung im Gefüge führen können.

Auf stark verspannte Keramik kann das Verfahren nicht angewendet werden. Es entsteht ein undefinierter Wildbruch. Entscheidender Nachteil ist auch die Verschmutzung der Werkstückoberfläche durch Ablagerungen der Verdampfungsrückstände.



Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren auf Basis des Trennens von Material mittels thermisch induzierten Spannungen, die zu einer Rissausbildung entlang einer Trennlinie führen, zu finden, mit dem in flache Werkstücke aus Keramik mit einer hohen Prozessgeschwindigkeit ein Tiefenriss definierter Tiefe eingebracht werden kann, damit die Biegefestigkeit der Keramik entlang dieser Trennlinie  
5 definiert verringert wird, um anschließend mit definierter Krafteinwirkung das Werkstück entlang der Trennlinie trennen zu können

Die Aufgabe der Erfindung wird für ein Verfahren zum Trennen eines flachen  
10 Werkstückes aus Keramik mit den Merkmalen des Anspruches 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Über die ursprüngliche Annahme der Anmelderin, spannungsbehaftete Keramik nur dann aufgabengemäß trennen zu können, wenn die Prozessparameter über den  
15 Prozess in Beachtung der Eigenspannung des Werkstückes verändert werden, hat die Anmelderin danach gesucht, wie sie für die sinnvoll veränderbaren Parameter, Laserleistung und Vorschubgeschwindigkeit ein hinreichend großes Prozessfenster erhält. Sie ist hierbei zu der Erkenntnis gelangt, dass sie als wesentlichen Parameter  
20 die Strahlflecklänge in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (WLF) des Werkstückes und dessen Dicke festlegen muss und hat hierfür eine geeignete Formel gefunden. Bei entsprechend gewählter Strahlflecklänge ergeben sich für die Einstellung der Laserleistung und der Vorschubgeschwindigkeit (Prozessgeschwindigkeit) ein hinreichend großes Prozessfenster, so dass diese  
25 Parameter innerhalb des Prozessfensters gezielt verändert werden können bzw. Schwankungen z.B. der Laserleistung oder der auftreffenden Strahlungsdichte durch Unebenheiten in der Werkstückoberfläche toleriert werden können. Es hat sich auch gezeigt, dass bei entsprechender Strahlflecklänge eine gezielte Änderung der Prozessparameter nicht zwingend erforderlich ist, wenn die Eigenspannungen im  
30 Werkstück nur gering im Verhältnis zu den Spannungen sind, die erzeugt werden müssen, damit sich im Werkstück ein Riss ausbildet.

Bei der Herstellung keramischer Werkstücke treten in den verschiedenen Produktionsstufen, bei der Nachbehandlung oder der Montage grundsätzlich mechanische Spannungen auf. Insbesondere bei ungleichmäßiger Erwärmung oder Abkühlung (z.B. Abkühlung nach dem keramischen Brand, thermische Nachbehandlungen zur Oberflächenbehandlung oder zum Aufbringen von Schichten) und durch das Schwinden werden Spannungen im Werkstück „eingefroren“ bzw. führen diese zu bleibenden Formveränderungen. Diese Spannungen lassen sich insbesondere erklären durch den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der keramischen Körnung (Scherben) und der Schmelzphase (Verunreinigungen) und der damit verbundenen unterschiedlichen Ausdehnung des Gefügebauaufbaus sowie unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen der Keramik (keramische Körnung und Verunreinigungen) und einem Beschichtungsmaterial. Darüber hinaus können zusätzliche Eigenspannungen in das Material eingebracht worden sein durch starke mechanische Kräfte bei der Formgebung oder eine mechanische Bearbeitung des Werkstückes, wie das mechanische Schneiden der Kanten.

Die Eigenspannungen kann man im Allgemeinen nicht berechnen, jedoch begrenzt experimentell bestimmen.

Es ist ein erster Gedanke der Erfindung, dass insbesondere bei Werkstücken mit hoher bzw. sich stark über die gewünschte Trennlinie ändernde Eigenspannung vor Beginn des Trennprozesses die Eigenspannungen des Werkstückes entlang der gewünschten Trennlinie erfasst werden. Primär erfolgt diese Erfassung messtechnisch. Sekundär kann nach einer Vielzahl von Vermessungen und Zuordnung der Messergebnisse zu einer jeweiligen Oberflächenkrümmung des Werkstückes entlang der gewünschten Trennlinie auch durch visuellen Vergleich der Krümmungen der Werkstücke rückwirkend auf die Eigenspannungen geschlossen werden.

Die Eigenspannungsmessung sollte vorteilhafterweise an zwei Proben einer Werkstückcharge durchgeführt werden, wobei die Erfassung an der zweiten Probe dazu dient, die Ergebnisse der ersten Probe zu bestätigen. Sind die Ergebnisse innerhalb der vorgegebenen Toleranzgrenzen gleich, kann man davon ausgehen, dass auch die anderen Werkstücke dieser Charge einen vergleichbaren

Spannungsverlauf entlang der Trennlinie aufweisen. Unter Werkstücke einer Charge sollen solche Werkstücke verstanden werden, die unter identischen Herstellungsbedingungen und gegebenenfalls Bearbeitungsbedingungen hergestellt und bearbeitet wurden und die die gleichen Abmessungen, insbesondere die gleiche

5 Materialdicke aufweisen.

Die Eigenspannungen können auch durch Versuche experimentell ermittelt werden.

Um in der Keramik einen Tiefenriss konstanter Tiefe über das gesamte Werkstück zu erzielen, ist es wichtig, dass die induzierten Spannungen in Summe mit den

10 Eigenspannungen den Bereich der kritischen Bruchspannungen (Spannungen bei denen eine Rissbildung erfolgt) erreicht. Nun könnten zwar die Eigenspannungen der zu trennenden Keramikplatte entlang der gewünschten Trennlinie ermittelt werden und die zulässigen Bruchspannungen sind in der Regel vom Hersteller der Keramikplatte zu erfahren, jedoch können die sich daraus ergebenden zu

15 induzierenden Spannungen nicht trivial als Funktion des Weges über die Laserlinie eingestellt werden.

Die induzierten Wärmespannungen sind eine Funktion von einer Vielzahl von Prozess- und Materialparametern, nämlich:

- 20
- Leistung der Laserstrahlung
  - Leistungsdichteverteilung im Strahlfleck
  - Form und Fläche des Strahlflecks
  - Relativgeschwindigkeit zwischen Strahlfleck und Werkstück
  - Materialeigenschaften des Werkstückes,
- 25
- Wärmephysikalische Eigenschaften des Kühlmittels
  - Form und Fläche des Kühlquerschnitts sowie Abstand zum Strahlquerschnitt

Es bleibt daher nur die Möglichkeit, über eine Vielzahl von Versuchen Parameterkombinationen zu ermitteln, die eine Wärmespannung bewirken, die in

30 Summe mit den Eigenspannungen den gewünschten Tiefenriss erzeugt.



Bei gegebenen Materialeigenschaften des Werkstückes, den ebenfalls innerhalb eines Trennprozesses nicht veränderbaren Eigenschaften des Kühlmittels sowie der nur schwerlich während des Prozesses veränderbaren Strahl- und Kühlmittelquerschnitte bleiben für eine experimentelle Variation insbesondere die Leistung der  
5 Laserstrahlung und die Vorschubgeschwindigkeit. Um hierfür einen hinreichend großen Spielraum (Prozessfenster) zu haben, ohne dass es auf Grund zu hoher Energieeinträge infolge zu hoher Strahlungsleistungen bzw. zu geringer Geschwindigkeit zu Materialerhitzungen kommt, die zum Schmelzen der Verunreinigungen führen, müssen die für den Prozess festen Parameter entsprechend  
10 ausgewählt werden.

Maximal große Prozessfenster werden erreicht, wenn der Strahlquerschnitt eine möglichst große Ausdehnung (Strahlflecklänge) in Richtung der Strahlführung (Vorschub) aufweist, d.h. je größer die Strahlflecklänge ist, desto größer ist der Spielraum, in dem die Vorschubgeschwindigkeit und Leistung der Laserstrahlung  
15 variiert werden können.

Da die Wärmeleitung im Material in alle Richtungen gleichermaßen erfolgt, wird ein höherer Wärmeeintrag in die Tiefe durch eine größere Strahlflecklänge unterstützt. Während bei Glas die Strahlflecklänge im Rahmen der technischen Möglichkeiten nahezu beliebig lang wählbar ist, ist die Länge bei Keramik begrenzt.. Ursache hierfür  
20 ist die Wärmeleitfähigkeit (WLF) der Materialien. Während die WLF von Glas nur geringfügig schwankt, z.B. Floatglas 0,8 W/mK bis zu Borosilikatglas 1,2W/mK, kann die WLF von Keramik sowohl das 10- bis 20-fache als auch mehr als das 100-fache von Glas erreichen, z.B. ALN 180W/mK. Dieser Umstand muss bei der Geometrie der Aufheizzone (Strahlfleck), insbesondere bei deren Länge in Richtung der  
25 Vorschubgeschwindigkeit beachtet werden.

Hier setzt der zweite Gedanke der Erfindung an.

Die maximal sinnvolle Strahlflecklänge wird durch die Wärmeleitfähigkeit des zu  
30 trennenden Materials bestimmt. Je höher die Wärmeleitfähigkeit ist, desto kürzer muss die Strahlflecklänge sein, damit möglichst wenig Wärme von der Trennlinie in die angrenzenden Bereiche seitlich abgeleitet wird. Gleichzeitig soll die Strahlflecklänge aber möglichst groß sein, um, wie dargelegt, ein großes

Prozessfenster zu haben, in dem die Vorschubgeschwindigkeit und die Laserleistung variiert werden kann. In den Ausführungsbeispielen sind für Materialien verschiedener Wärmeleitfähigkeit Strahlflecklängen angegeben, wie sie für das jeweilige Material optimal sind, also so groß wie möglich, um ein großes  
5 Prozessfenster zu erhalten und aber auch so klein wie nötig, um die seitliche Wärmeableitung gering zu halten. Die Anmelderin hat an Hand einer Vielzahl von Versuchen eine Formel entwickelt, an Hand der eine optimale Strahlflecklänge in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit (WFL) und der Materialdicke ermittelt wird. Eine Einstellung dieser Strahlflecklänge führt zu einem großen Prozessfenster, indem  
10 die Laserleistung und die Vorschubgeschwindigkeit hinreichend variiert werden können, um die induzierten Wärmespannungen über die Trennlinie in Abhängigkeit von den Eigenspannungen zu verändern bzw. einzustellen. In Abhängigkeit von den Eigenspannungen im Werkstück können geeignete Parameterkombinationen für die Laserleistung und die Vorschubgeschwindigkeit innerhalb des Prozessfensters  
15 gefunden werden. Dabei könne diese Parameter über den Prozessablauf variiert werden, wenn die Spannungsverhältnisse stark schwankend entlang der Laserlinie sind bzw. sie können für Werkstücke, die z.B. durch eine unterschiedliche Nachbehandlung unterschiedliche Eigenspannungen aufweisen, unterschiedlich eingestellt werden.

20 Auch wenn eine Änderung der Verfahrensparameter nicht notwendig ist, weil die Eigenspannungen klein sind bzw. über den Verlauf der gewünschten Trennlinie nicht stark schwanken, ist die Wahl der Strahlflecklänge an Hand der erfindungsgemäßen Formel zwingend, um einen Trennriss gemäß der Aufgabenstellung zu erhalten. Größere Strahlflecklängen führen bei sonst konstanten Verfahrensparametern nicht  
25 zur gewünschten Trennqualität bzw. der Trennprozess findet gar nicht statt, da durch die Wärmeleitung der erforderliche Temperaturgradient nicht erreicht werden kann. Kürzere Strahlflecklängen führen zu einer längeren Prozessdauer oder zu sichtbaren Wechselwirkungen (Verdampfung, Aufschmelzen der Materialoberfläche). Mit der erfindungsgemäß bestimmten Strahlflecklänge lassen sich somit höchstmögliche  
30 Prozessgeschwindigkeiten erzielen. Schwankungen der Laserleistungen führen auf Grund des großen Prozessfensters nicht zur Beeinträchtigung des Verfahrens. Ebenso wirken sich Schwankungen in der Energiedichte in dem auf das Werkstück auftreffenden Strahlfleck nicht aus. Solche Energiedichteschwankungen ergeben sich,

wenn sich der relative Abstand des Fokus zur Werkstückoberfläche über die Laserlinie ändert, weil z.B. die Werkstückoberfläche uneben ist. Versuche haben ergeben, dass eine Abweichung der errechneten Strahlflecklänge bis zu 10 % zu keiner wesentlichen Beeinträchtigung führt.

5

Die grundsätzliche Beachtung der Eigenspannungen bei der Prozessdurchführung eröffnen nicht nur die Möglichkeit einer reproduzierbaren Trennung von mit Eigenspannungen behafteter Keramik, sondern auch ein gezieltes Einbringen von mechanischen Spannungen zur Unterstützung des Trennprozesses. So können z.B.

10 nichtoxidische Keramiken, in die auf Grund der hohen Wärmeleitfähigkeit nur schwer thermische Spannungen induziert werden können, während des Trennprozesses mechanisch so vorgespannt werden, dass der Eintrag nur noch geringer Wärmespannungen bereits zur Rissbildung führt.

Durch die Beachtung der Eigenspannung ist es beim Trennen von Keramik durch

15 einen Tiefenriss und nachfolgende mechanische Krafteinwirkung möglich, die notwendige Krafteinwirkung in einem kleinen Toleranzbereich zu halten. Die notwendige Bruchkraft soll einerseits nicht zu gering sein, um ein vorzeitiges unabsichtliches Brechen auszuschließen, aber auch nicht zu hoch sein, um die Keramik entlang der Trennlinie schonend und mit geringem Energieaufwand zu

20 brechen.

Insbesondere dünne Werkstücke werden vorteilhaft auf der Werkstückauflage fixiert vermessen, die auch zum nachfolgenden Trennprozess als Auflage dient. Dadurch werden auch die durch eine Verspannung infolge der Fixierung auf der Auflage

25 entstehenden Spannungen mit erfasst.

Ein dritter Gedanke der Erfindung betrifft die Einleitung des Risses.

Das gezielte Einbringen eines Initialrisses ist für das Trennen eines Werkstückes aus Keramik überflüssig. Wie eine Vielzahl von Erprobungen gezeigt haben, beginnt die

30 Rissausbildung stets entlang der Korngrenzen, an denen sich auf Grund des unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten der Keramik kristalle und der diese umschließenden Schmelzphase bei der Herstellung und der Wiedererwärmung Spannungsmaxima ausbilden bzw. an Stoffübergängen, die sich beim keramischen

Brand durch die Kornkontakte bilden und Schwachstellen darstellen. Der Riss breitet sich dann entlang der Korngrenzen im Bereich der Laserlinie (Linie, die der Strahlfleck überstreicht) aus. Während sich der Riss im amorphen Gefüge des Glases immer von einem Initialriss ausgehend geradlinig ausbreitet, erfolgt die Rissbildung und -  
5 ausbreitung in der kristallinen Keramik mikroskopisch gesehen entlang der Korngrenzen bzw. Schwachstellen wellig. Die Strahlfleckbreite soll mindestens die Breite der größten Korndurchmesser aufweisen.

Die Erfindung soll nachfolgend an Ausführungsbeispielen an Hand von Zeichnungen  
10 näher erläutert werden.

In einem ersten Ausführungsbeispiel, soll eine Keramikscheibe aus 96%igem Aluminiumoxid mit einer Wärmeleitfähigkeit von 24W/mK und einer Dicke von 0,63 mm mittig getrennt werden.

15 Mittels der erfindungsgemäßen Formel  $l = 8 \times d \times 24 / WLF$ , wobei  $l$  die Länge des Strahlfleckes,  $WLF$  der Betrag der Wärmeleitfähigkeit der zu trennenden Keramik und  $d$  die Dicke des zu trennenden Keramikwerkstückes ist, wird eine Strahlflecklänge von 5 mm errechnet und ein Strahlfleck mit der Strahlflecklänge von ungefähr 5mm und einer Strahlfleckbreite von ungefähr 1mm eingestellt. Bei einer Laserleistung von 60  
20 Watt und einer Geschwindigkeit von 100 mm/s, mit der der Strahlfleck über das Werkstück geführt wird, wird ein Tiefenriss erzeugt, der visuell nicht sichtbar ist. Bei einer anschließenden Krafteinwirkung im Bereich von 80-120 MPa wird das Werkstück entlang der Trennlinie gebrochen. Weitere in diesem Werkstück bzw. Werkstücken gleicher Materialcharge mit gleicher Parameterwahl erzeugte Tiefenrisse  
25 sind mit gleicher Krafteinwirkung trennbar. Eine Schwankung der Laserleistung um 3% sowie eine Höhendifferenz von 0,75 mm über die Diagonale des Werkstückes, die zu Schwankungen der auftreffenden Strahlungsdichte entlang der Laserlinie führen, liegen innerhalb des Prozessfensters und sind daher unproblematisch. Versuche haben gezeigt, dass bei dieser Ellipsenlänge des Strahlfleckes und einer  
30 Laserleistung von 60 W die Vorschubgeschwindigkeit zwischen 50 mm/s und 150 mm/s variiert werden kann, bei ansonsten unveränderten Verfahrensparametern. Die Laserleistung kann bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 100 mm/s zwischen 54 und 66 W variiert werden.



In einem zweiten Ausführungsbeispiel soll eine Keramikscheibe aus Zirkoniumoxid mit einer Wärmeleitfähigkeit von 2,4 W/mK und einer Dicke von ebenfalls 0,63 mm getrennt werden. Für die Länge des Strahlflecks werden 50 mm gewählt, die gewählte Vorschubgeschwindigkeit und Laserleistung entsprechen denen des ersten Ausführungsbeispiels. Eine Variation dieser Laserleistung und der Vorschubgeschwindigkeit entsprechend dem ersten Ausführungsbeispiel ist möglich, ohne das eine Auswirkung auf die Rissbildung festgestellt werden kann.

In einem dritten Ausführungsbeispiel soll eine Keramik gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel getrennt werden, die mit aufgetragenen Kupferstrukturen versehen sehr hohe Eigenspannungen aufweist, die bei der Prozessdurchführung nicht mehr vernachlässigt werden können. Die Eigenspannungen in dieser Keramik sind in dem nicht beschichteten Randbereich deutlich geringer als in dem Bereich der Kupferstrukturen. Bei ansonsten gleichen Parametern für den Strahlfleck und die Materialdicke wird zum Trennen der Keramik entlang einer Linie zwischen den Strukturen entweder die Laserleistung fest eingestellt und die Vorschubgeschwindigkeit über die Laserlinie variiert oder die Vorschubgeschwindigkeit fest eingestellt und die Laserleistung über die Laserlinie variiert.

So wird z.B. bei einer Laserleistung von 60 W die Vorschubgeschwindigkeit im freien Randbereich beginnend auf 100 mm/s eingestellt, dann im beschichteten Bereich auf 70 mm/s verringert und dann beim Verlassen des beschichteten Bereiches wieder auf 100 mm/s erhöht. Beide Vorschubgeschwindigkeiten liegen innerhalb des Prozessfensters, welches sich für die ermittelte Strahlflecklänge für dieses Keramikmaterial und diese Werkstückdicke ergibt (s.1. Ausführungsbeispiel).

Anstelle die Vorschubgeschwindigkeit bei konstanter Laserleistung zu variieren, kann auch die Laserleistung bei konstanter Vorschubgeschwindigkeit verändert werden. So kann beispielsweise bei einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit von 100 mm/s, beginnend mit einer Laserleistung von 60 W, erst der freie Randbereich, dann mit 66 W der strukturierte Bereich auf einer Linie zwischen den Strukturen und abschließend wieder der freie Randbereich mit einer Laserleistung von 60 W beaufschlagt werden, um den gewünschten Trennriss zu erzeugen.



## Patentansprüche

1. Verfahren zum Trennen flacher Werkstücke aus Keramik durch Provokation eines  
5 Trennrisses in Folge von Spannungen, die durch einen zeitlichen und örtlichen  
Wärmeeintrag mittels Laser entlang einer gewünschten Trennlinie und einem  
diesem nachlaufenden zeitlich und örtlichen Wärmeentzug mittels eines  
Kühlmittels entstehen, wobei die Laserstrahlung auf dem Werkstück einen  
Strahlfleck bildet, dessen Strahlflecklänge in Richtung der Trennlinie größer als  
10 dessen hierzu senkrechte Strahlfleckbreite ist, wobei  
in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit des Werkstückes und dessen  
Materialdicke die Strahlflecklänge so eingestellt wird, dass sie so klein wie nötig  
ist, damit der erforderliche Temperaturgradient zur Erzeugung des Trennrisses  
trotzt Wärmeleitung noch erreichbar ist, aber auch so groß wie möglich ist,  
15 womit ein möglichst schneller Wärmeeintrag und damit eine hohe  
Prozessgeschwindigkeit erreicht werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlflecklänge  
aus folgender Formel berechnet wird:  
20
- $$l = 8 \times d \times 24 / WLF$$
- wobei l die Länge des Strahlfleckes, WLF der Betrag der Wärmeleitfähigkeit der zu  
trennenden Keramik und d die Dicke des zu trennenden Keramikwerkstückes ist.  
25
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,  
dass zur Einleitung des Trennprozesses kein Initialriss erzeugt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,  
30 dass vor Beginn des Trennprozesses die Eigenspannungen des Werkstückes  
entlang der gewünschten Trennlinie erfasst werden und die Leistung oder die  
Geschwindigkeit während des Trennvorgangs in Beachtung der Eigenspannungen  
ortsabhängig so gesteuert werden, dass die Wärmespannungen und die

Eigenspannungen entlang der Trennlinie in Summe die zur Rissbildung notwendige Bruchspannung erreichen.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 dadurch gekennzeichnet,  
5 dass das Werkstück unter Vorspannung auf einer Werkstückauflage gehalten wird, um damit zusätzlich die Prozessspannungen stützende Spannungen zu erzeugen.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,  
10 dass das Werkstück zur Vermessung der Eigenspannung auf der Werkstückauflage fixiert ist, auf dem das Werkstück auch während des Trennprozesses und in gleicher Weise gehalten wird.

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE2004/001490

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 B23K26/073 B23K26/14 B23K26/40 B26F3/16 C03B33/09  
C03B33/10 B28D1/22 H01L21/78

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 B23K B26F C03B B28D H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 6 327 875 B1 (R.A. ALLAIRE ET AL) 11 December 2001 (2001-12-11)	1
Y	column 4, lines 6-27; figure 1	4-6
Y	DATABASE WPI Section Ch, Week 198008 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L01, AN 1980-14182C XP002305390 & SU 666 143 A (CONS MAT IND AUTOM) 5 June 1979 (1979-06-05) abstract	4,6

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* & \* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 November 2004

Date of mailing of the international search report

29/11/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Jeggy, T

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/DE2004/001490

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 013, no. 431 (C-640), 26 September 1989 (1989-09-26) & JP 1 167248 A (CENTRAL GLASS CO LTD), 30 June 1989 (1989-06-30) abstract -----	5
X	US 6 420 678 B1 (B.L. HOEKSTRA) 16 July 2002 (2002-07-16) column 7, line 58 - column 8, line 21 -----	1
Y	column 13, line 52 - column 14, line 40; figures 5,-6,12-18 -----	4-6
Y	DATABASE WPI Section Ch, Week 198750 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L01, AN 1987-354329 XP002305391 & SU 1 308 573 A (CONS GLASS RES INST) 7 May 1987 (1987-05-07) abstract -----	4,6
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 199, no. 810, 31 August 1998 (1998-08-31) & JP 10 116801 A (ROHM CO LTD), 6 May 1998 (1998-05-06) abstract -----	5
X	US 2003/024909 A1 (B. HOEKSTRA ET AL) 6 February 2003 (2003-02-06) paragraph '0049!; figures 4a-b,5 -----	1
A	WO 93/20015 A (FONON TECHNOLOGY LTD ; V.S. KONDRATENKO) 14 October 1993 (1993-10-14) cited in the application the whole document -----	1-6
E	WO 2004/060823 A (RORZE SYSTEMS CORPORATION ; K-Y YOU ET AL) 22 July 2004 (2004-07-22) the whole document -----	1-6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE2004/001490

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 6327875	B1	11-12-2001	JP 2000281371 A TW 464578 B	10-10-2000 21-11-2001
SU 666143	A	05-06-1979	SU 666143 A1	05-06-1979
JP 1167248	A	30-06-1989	NONE	
US 6420678	B1	16-07-2002	US 6259058 B1 US 6252197 B1 US 6211488 B1	10-07-2001 26-06-2001 03-04-2001
SU 1308573	A	07-05-1987	SU 1308573 A1	07-05-1987
JP 10116801	A	06-05-1998	NONE	
US 2003024909	A1	06-02-2003	US 6489588 B1 AU 1790001 A CN 1413136 T EP 1232038 A1 JP 2003534132 T TR 200201402 T2 TW 473794 B WO 0138039 A1	03-12-2002 04-06-2001 23-04-2003 21-08-2002 18-11-2003 21-03-2003 21-01-2002 31-05-2001
WO 9320015	A	14-10-1993	RU 2024441 C1 AT 141578 T AU 3898493 A DE 69304194 D1 DE 69304194 T2 DK 633867 T3 EP 0633867 A1 ES 2092295 T3 WO 9320015 A1 US 5609284 A	15-12-1994 15-09-1996 08-11-1993 26-09-1996 23-01-1997 13-01-1997 18-01-1995 16-11-1996 14-10-1993 11-03-1997
WO 2004060823	A	22-07-2004	WO 2004060823 A1	22-07-2004



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE2004/001490

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 7 B23K26/073 B23K26/14 B23K26/40 B26F3/16 C03B33/09  
C03B33/10 B28D1/22 H01L21/78

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 B23K B26F C03B B28D H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 6 327 875 B1 (R.A. ALLAIRE ET AL) 11. Dezember 2001 (2001-12-11)	1
Y	Spalte 4, Zeilen 6-27; Abbildung 1	4-6
Y	DATABASE WPI Section Ch, Week 198008 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L01, AN 1980-14182C XP002305390 & SU 666 143 A (CONS MAT IND AUTOM) 5. Juni 1979 (1979-06-05) Zusammenfassung	4,6

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*G\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

12. November 2004

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/11/2004

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Jeggy, T

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001490

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 013, Nr. 431 (C-640), 26. September 1989 (1989-09-26) & JP 1 167248 A (CENTRAL GLASS CO LTD), 30. Juni 1989 (1989-06-30) Zusammenfassung -----	5
X	US 6 420 678 B1 (B.L. HOEKSTRA) 16. Juli 2002 (2002-07-16) Spalte 7, Zeile 58 - Spalte 8, Zeile 21	1
Y	Spalte 13, Zeile 52 - Spalte 14, Zeile 40; Abbildungen 5,-6,12-18 -----	4-6
Y	DATABASE WPI Section Ch, Week 198750 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L01, AN 1987-354329 XP002305391 & SU 1 308 573 A (CONS GLASS RES INST) 7. Mai 1987 (1987-05-07) Zusammenfassung -----	4,6
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN Bd. 199, Nr. 810, 31. August 1998 (1998-08-31) & JP 10 116801 A (ROHM CO LTD), 6. Mai 1998 (1998-05-06) Zusammenfassung -----	5
X	US 2003/024909 A1 (B. HOEKSTRA ET AL) 6. Februar 2003 (2003-02-06) Absatz '0049!; Abbildungen 4a-b,5 -----	1
A	WO 93/20015 A (FONON TECHNOLOGY LTD ; V.S. KONDRATENKO) 14. Oktober 1993 (1993-10-14) in der Anmeldung erwähnt das ganze Dokument -----	1-6
E	WO 2004/060823 A (RORZE SYSTEMS CORPORATION ; K-Y YOU ET AL) 22. Juli 2004 (2004-07-22) das ganze Dokument -----	1-6

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichung, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2004/001490

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
US 6327875	B1	11-12-2001	JP	2000281371 A		10-10-2000
			TW	464578 B		21-11-2001
SU 666143	A	05-06-1979	SU	666143 A1		05-06-1979
JP 1167248	A	30-06-1989	KEINE			
US 6420678	B1	16-07-2002	US	6259058 B1		10-07-2001
			US	6252197 B1		26-06-2001
			US	6211488 B1		03-04-2001
SU 1308573	A	07-05-1987	SU	1308573 A1		07-05-1987
JP 10116801	A	06-05-1998	KEINE			
US 2003024909	A1	06-02-2003	US	6489588 B1		03-12-2002
			AU	1790001 A		04-06-2001
			CN	1413136 T		23-04-2003
			EP	1232038 A1		21-08-2002
			JP	2003534132 T		18-11-2003
			TR	200201402 T2		21-03-2003
			TW	473794 B		21-01-2002
			WO	0138039 A1		31-05-2001
WO 9320015	A	14-10-1993	RU	2024441 C1		15-12-1994
			AT	141578 T		15-09-1996
			AU	3898493 A		08-11-1993
			DE	69304194 D1		26-09-1996
			DE	69304194 T2		23-01-1997
			DK	633867 T3		13-01-1997
			EP	0633867 A1		18-01-1995
			ES	2092295 T3		16-11-1996
			WO	9320015 A1		14-10-1993
			US	5609284 A		11-03-1997
WO 2004060823	A	22-07-2004	WO	2004060823 A1		22-07-2004